

厚さのうすい寒気の前縁部の Low Altitude Wind Shear の解析*

中山 章**・栗山 陽一***

要 旨

羽田空港での Low Altitude Wind Shear(LAWS) を1981~1985年の5年間について調べたところ、総観規模の寒気をもった前線によるものは全体の27%で、他は局地的に形成された“厚さのうすい寒気”によるものであった。この厚さのうすい寒気による LAWS を調べた結果、(1) LAWS は寒気の前縁と、前縁から離れた後方に発生するものがあり、(2) 前縁部の風の水平傾度は非常に大きく、LAWS が発生した頃には局地前線は強かった、ことが分かった。

1. はじめに

大型航空機は離着陸時でも大きな運動量をもっている。この運動量の変化しない区間において、向い風が急変すると対気速度の急変となり、タービュレンス (aircraft turbulence) がなくても揚力が急変する。

しかし、揚力の急変が飛行上問題になるのは、

- (1) 対気速度が離着陸時のように失速速度に近いこと
- (2) 失速した時に航空機の姿勢を回復できないぐらい低高度であること、である。

上の2つの条件から、飛行上問題となる高度はおおよそ1,500 ft 以下と考えてよく、航空の分野では、この高度で飛行中の航空機の受ける風の時間変化を、Low Altitude Wind Shear (LAWS) と呼んでいる。なお、ジェット機が特に重視されるのはジェット・エンジンの応答が遅いからである。

着陸時には航空機は2.5度(飛行場によっては3.0度)のグライドスロープ (glide slope) に沿って降下するので、LAWS は鉛直シャーよりも水平シャーの方が大きく影響する。

たとえば、 $10 \text{ ms}^{-1}/500 \text{ m}$ の鉛直シャーの中を対地速度 80 m/s 、降下角 2.5 度で降下する時の LAWS は $7.0 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$ で、これは $0.4 \text{ ms}^{-1}/500 \text{ m}$ の水平シャーと同等である。このため、風の分布を与える前線面の形により LAWS の影響は異なる。

今回、1981年1月から1985年12月までの5年間の羽田空港の LAWS を調べたところ、(イ)低層に形成された寒気に伴うものが発現頻度が大きく、(ロ)前線面に沿って常時発生するものではない、ことが分かったのでこの問題を中心に解析した。

低層における前線の形と LAWS の発現との関係を規模別に見ると、

総観規模のものでは英国での ana-型の寒冷前線は低層では垂直なものがあるが、総観規模の解析なので LAWS への影響は不明である (Browning and Harrold, 1970; Browning and Pardoe, 1973)。

さらに細かい観測として、Boulder を通過した寒冷前線の気象観測塔 (300 m) の時間変化を空間変換したものとによると、前線面はほぼ垂直で、気温、風の水平傾度は幅200 m に集中し、超音波風速計の観測では前線の暖気側で 5 m/s を越える上昇流があった (Shapiro, 1984)。この種の前線では LAWS の影響を受ける。

局地前線については、温暖前線の北上によって関東地方の山岳の前方に閉じ込められた寒気が南下した時、高さ150 m の前線の幅は DFDR (digital flight data recorder) によると400 m で、着陸機は LAWS の影響を

* An analysis of Low Altitude Wind Shear (LAWS) at the leading edge of advancing thin cold air.

** Akira Nakayama, 防衛大学校数学物理学教室。

*** Youichi Kuriyama, 同上研究科。

——1987年11月20日 受領——

——1988年3月24日 受理——

第1表 総観規模の寒冷前線に伴う LAWS の分類
と小さい規模からみた発生場所と発現回数
(場所：羽田空港；期間：1981. 1. 1-1985.
12. 31)

要素 年月日	総観気象条件		うすい寒気の前縁からの 相対位置関係 (小さい 規模からみた)	
	収束線 (局地前線)の中	寒冷前線 の後面	寒気の前 端	先端から 後方
1981-2-19	有り	無し	3	1
1981-10-9*	有り	無し	1	1
1982-1-5**	無し	有り	0	1
1984-12-14	有り	無し	2	0

* 北関東からの寒気の吹き出しは不明瞭であら
** 北関東からの寒気の温度はフェーンのため東京
湾よりも高い

受け復行 (go-around) した (中山, 渡辺, 1987)。

一方、寒気の前縁部の微細構造はガスト前線 (Charba, 1974), 海風前線 (Simpson *et al.* 1977) などについて調べられ、これらは、その後の流体実験による結果 (Simpson and Birtter, 1979; 1980) ととも合致している。これらの中には LAWS の影響を受けるものもある。

近年まで、寒気の前縁部の構造は、観測塔による実測値と、それより上の観測値のない部分は流体実験のモデルを用いての推論が行われてきた。しかし、ドップラーレーダーによる観測が可能となり、その結果、ガスト前線は発達から衰弱の過程をとり、寒気の前縁部の形は数分で変化することが明らかになった (Wakimoto, 1982)。

本文のデータからは短時間の変動を議論することはできなかったが、LAWS の発生に関して次のことは明らかになった。

(1) 寒気の前縁部の “head” の部分と “寒気の前縁から後方のケルビン・ヘルムホルツ波の発生する領域 (Simpson and Britter, 1979)” の2ヶ所に発生し、

(2) 発生した時間には局地前線が強まり水平シャーも大きかった。

2. 資料の選定

羽田空港での ICAO (International Civil Aviation Organization) の規定により報告された LAWS のうち、安全係数も含め高度が2,000 ft 以下のもの33例を調査の対象とした (期間は1981年1月1日より1985年12月31日)。これを総観規模で分類するため、気象庁天気図に

第2表 1981年2月19日の羽田空港におけるLAWS
の発生状況

時 間 (JST)	飛行高度 ft(m)	機 種	滑走路端末からの距離 と説明事項
1008	150(45)	L-1011	1.0km
1017	500-300 (152-91)	YS-11	3.5-2.1km
1028	500(152)	B-747	3.5km 強度は severe で、風は230° /35kts から020°/15kts に急変
1217	800(242)	YS-11	5.5km

より、緯度にして±2度以内のものを前線によるものとしたところ、温暖前線が9例、寒冷前線が4例、その他は判別不能であった。

寒冷前線の4例を詳細に解析したところ、(用いた資料は節の終わり)、1982年1月5日を除いた残り3例の LAWS は、寒冷前線前方の上層の南よりの風の中で関東南部に形成された局地前線によるものであった (第1表)。

この局地前線北側の寒気は館野の高層観測と筑波山 (海拔868m) の毎時観測値によると、寒冷前線後面の寒気 (総観規模の寒気) が中部山岳を越えて関東地方に達する前のものであると見られる。

そこで、厚さのうすい寒気に伴う LAWS の資料として第1表を選んだ。ただし、1982年1月5日 (局地前線のないもの) と、第1表の寒気の前縁より後方に発生した LAWS の解析は別に取り扱った。なお、用いた資料は自記記録、アメダス、テレビ塔、公害監視用観測所の毎時観測値、及び航空機報告である。

3. 事例解析：1981年2月19日の LAWS の解析

この日を選んだ理由は

(1) LAWS は10時 (JST) 過ぎに発生し高層観測時間に近いこと、

(2) B-747型機が severe LAWS を観測し、他にいくつかの報告があるので解析に有利であること (第2表) による。

3.1 関東地方の寒気の特徴

総観天気図 (第1図) では19日03時に地上の寒冷前線 (太い破線) は日本海にあり、6時間後の09時には関東地方に描かれている (気象庁天気図)。19日09時の850 mb の等温線分布からは輪島 (W) は既に寒気内だが館野 (T) はまだ暖気側である。中間の前橋 (M) では西

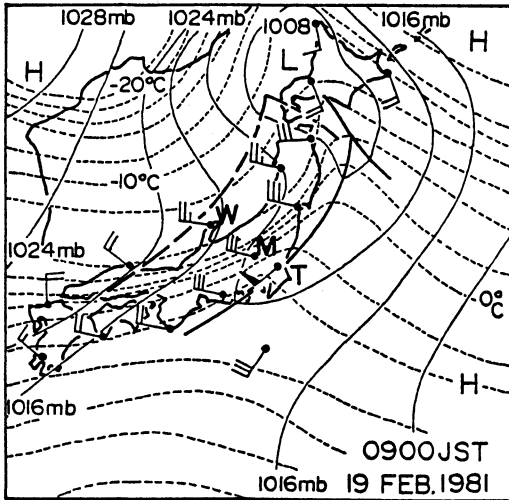
の風だが、ゾンデ観測がないため寒気内かどうかは分からない。

館野の時間断面図(第2図)によると、18日21時の相当温位 290°K の寒気は19日09時にも低層にあり、この寒気の上の474 m (944 mb) では南よりの風が強く $211^{\circ}/$

17ms^{-1} であった(第4図のホドグラフも参照)。

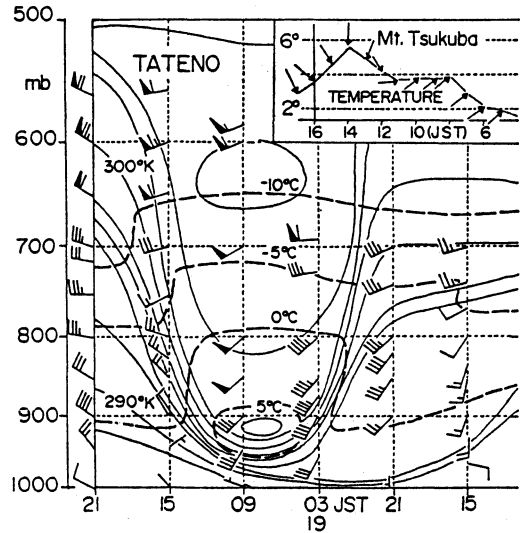
また、19日09時の局地天気図(第3b図)では関東平野の西と東との間には前線はないので、館野の寒気の状態は関東地方の西部についても同じと考えられる。

LAWS の発生は10時08分から20分間で、この時間は



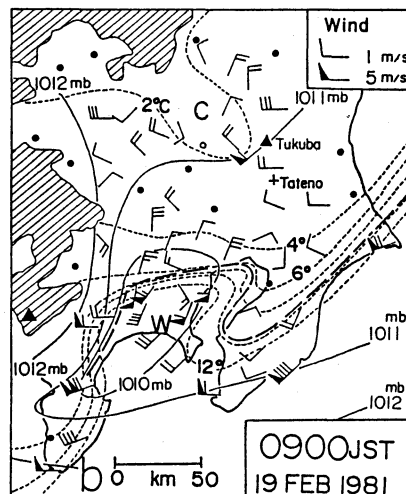
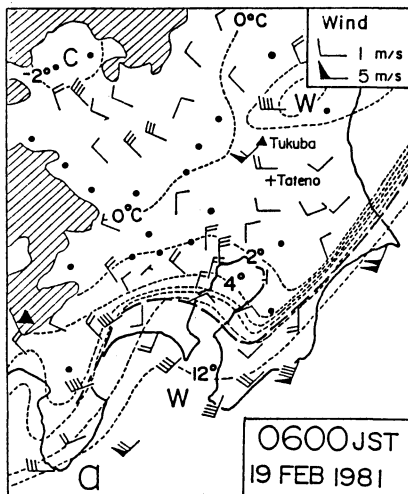
第1図 1981年2月19日09時(JST)天気図

太い実線は09時、破線は03時の地上の前線系、細い破線は850 mb の等温線、矢羽根は850 mb の風(風速は国際形式), W は輪島, M は前橋, T は館野を示す。



第2図 館野の時間断面図(1981年2月1日8-19日)

細い実線は相当温位(2°K 間隔), 太い破線は等温線(5°C 間隔), 右上は筑波山の19日5時から17時までの温度と風向を示す。



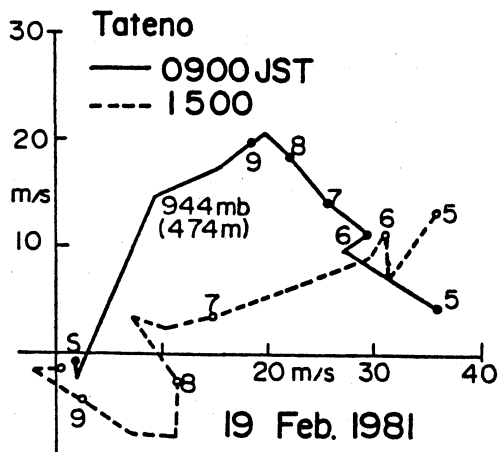
第3図 1981年2月19日03時(a図)および09時(b図)局地天気図

細い実線は地上の等圧線(b図), 細い破線は等温線(2°C 間隔), 太い破線は局地前線, 黒の三角形は山岳観測所(富士山及び筑波山), 黒丸は静穏を示す。

第3表 羽田と前橋との気圧差の時間変化 (1981年2月19日)

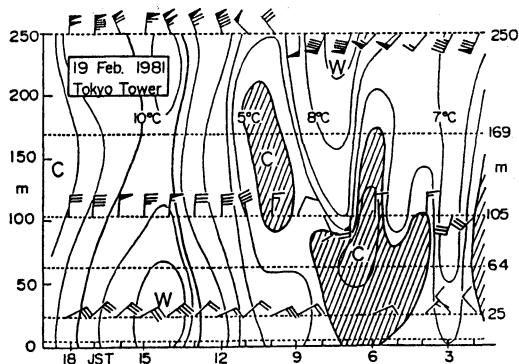
羽田の $(p-\bar{p})$ から前橋の $(p-\bar{p})$ を引いたもので、気圧の平均 $\bar{p}$ は18日18時から19日17時の値を用いた。

時間 (JST)	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
気 圧 差	+ .3	+ .7	+ .5	+ .6	- .7	-1.8	- .7	- .8	- .2	- .6



第4図 1981年2月19日の館野のホドグラフ。

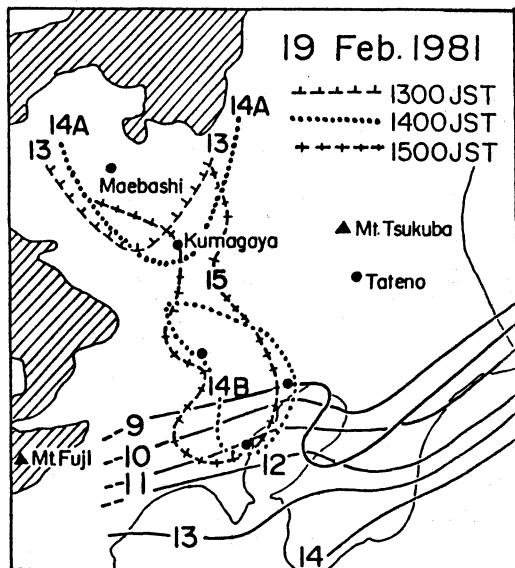
実線は09時、破線は15時の100 mb 毎の観測値 (数字×100 mb) を示す。



第5図 東京タワーにおける風と気温の時間変化図 (1981年2月19日)

横軸は時間、縦軸は高さ(m)、実線は等温線、矢羽根は長いものが1 m/s、ペナントが5 m/s、細い破線は観測高度を示す。

(イ)日中なので放射冷却により09時よりも寒気が更に発達することはない、(ロ)関東平野の風は収束していることはなく、どちらかと云えば、発散している(第3b図)、(ハ)筑波山で南よりから北よりの風になったのは12時で



第6図 寒冷前線に伴う寒気の吹き出しと局地前線の移動 (1981年2月19日)

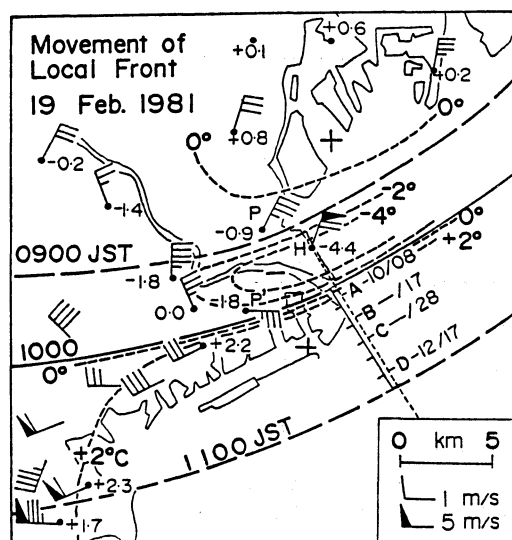
中部山岳を越えてきた寒気の風速が5 m/s以上の領域を右上の記号で示した。但し、14時については4 m/s以上を14B、5 m/s以上を14Aとした。細い実線は局地前線の移動を、斜線域は海拔高度が1 km以上のところを示す。

ある(第2図)。

以上のことから、羽田空港付近の寒気の上限は09時の館野の寒気の高さ474mより高くなったことは考えられない。

地上での寒冷前線の通過は、風速の増大、露点温度の急降(温度はあまり変化ない地点と急昇する地点とある)として現れ、通過時間は熊谷が13時09分、羽田が13時50分、東京ヘリポートが15時50分とくい違っている(後述)。

いずれにしても、最も早く羽田に到達したのもでも13時50分なので、第2表の LAWS は寒冷前線後面の寒気が流入してくる以前のものである。それ故、本文で扱う LAWS は、厚さのうすい寒気に伴って発生したも



第7図 局地前線の移動と LAWS の発生地点(1981年2月19日)

太い実線は局地前線の10時の位置、長さの長い太い破線は09時及び11時の局地前線の位置を、長さの短い破線は10時の前1時間の温度変化(°C単位)を矢羽根は10時の地上風(スケールは右下)、数字は10時と09時の気温差を、A, B, C, DはLSWSの発生地点で、横の数字は時間/分を、A, B, C, Dの左のスケールは10分毎の内捜した前線の位置、細い破線は航空機の進入路(glide slope)を示す。

のと見ることができる。

関東地方に前夜からあった厚さのうすい寒気は東京タワー(位置は第10図参照)の観測では、局地前線が停滞していた19日09時までは観測点105mか、高くても250m以下にあるが(第5図)、局地前線が南下を始めた10時には東京タワーの250mでも北よりの風となり、これと共に気温も下っている。

これは海岸部より放射冷却が強く(第3a図の温度分布参照)、相対的に厚さの厚い内陸の寒気が南下して来たためだろうが、羽田空港付近での寒気の上限はテレビ塔の観測からは決め得ない。

なお、局地前線の移動と前橋と羽田の気圧傾度の時間変化を比べると(第3表)、(Fujita *et al.* 1962の方法による)、前線が南下を始めた時間に気圧傾度の方向は変わっている。

寒冷前線が中部山岳を通過し寒気が関東地方に吹き出したのは、前橋では不明瞭だが、熊谷では13時09分でフェーン効果を伴い、気温は+1.6°C/15 min、露点温度

は-5.0°C/10 min 変化した。この前線の移動を示したのが第6図である。

これによると、13時には北関東だけなのが、14時には北関東と東京湾付近(5 m/s以上が2ヶ所に分かれているので、図が複雑になるため4 m/s以上の地域を14Bとして示した)の2ヶ所に分かれている。

熊谷を13時09分通過した関東北部からの寒気先端が羽田に13時50分に到達するためには、24 m/sの風速でなければならないが、このような強い風はない。

従って、第6図の14時、15時と細長く強風域があるのは中部山岳を寒気が越えて来るとき、いくつかの峠を越えてきているからと考えないと説明が付かない。なお、第6図は風速が5 m/s(一部4 m/s)の領域を示しただけであり、寒気の吹き出しの先端とは必ずしも一致しない。

3.2 前線に相対的な LAWS の分布

寒冷前線に伴う寒気が関東地方に到来する前に局地前線は南下を始めた(第6図)。この詳細は第7図で、移動速度は09時から10時が3.8 km/hr、10時から11時が6.5 km/hrである。

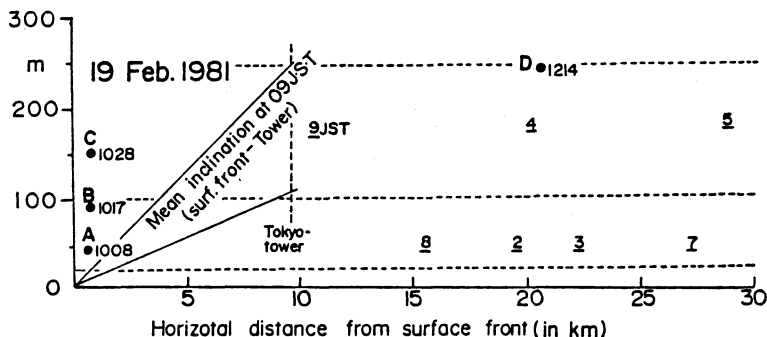
航空機は木更津から羽田空港に向かって2.5度のグライド・スロープ上(第7図の細い破線)を正確に降下するので、LAWSに遭遇した高度からLAWSの発生地点がわかる。第7図のA, B, C, Dは、この発生地点である。なお、右側の数字は発現時間(JST)を分単位で示したものであり、左側のスケールは前線の位置を10分毎に内捜したものである。

第7図のLAWSは比較的近い場所に集中しているが、この発生地点と地上の局地前線(風と温度の境界)との相対位置を見ると(第8図)、A, B, C(10時07分~28分)は地上前線の前縁部に発生しているのに対し、Dは地上前線の先端から寒気側に20 km入った地点であって、同じLAWSと報じられていても発生機構の異なったものである。

ここでは前縁部で発生したものだけについて述べる。なお、10時08分から28分までの約20分間だけに発生したことについては4節で考察する。

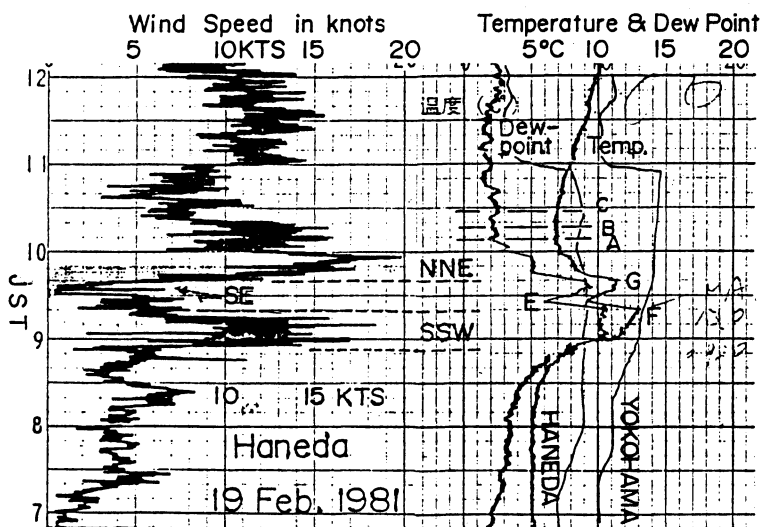
3.3 局地前線付近の微細構造

第9図は局地前線が南下した時の羽田空港(第7図のH点)の風、気温などの変化図である。羽田では08時50分に前線の南側に入り(横浜は暖気側にある)、風向きは東よりから南南西にかわり、気温、露点温度とも上昇した。



第8図 局地前線に相対的なLSWSの発現分布(1981年2月19日)

横軸は地上前線からの距離を、縦軸は高さ(m)を示す。第7図のLAWSの観測地点と、この図のA,B,C,Dとは対応する。下線を施した数字はその時間(JST)には東京タワーの観測高度(破線)間に局地前線の境界面があったこと、数字のある所は東京タワーと地上前線との距離を示す。また、斜めの広がった2本の実線は09時の地上前線と東京タワーの間を直線で結んだ前線面の傾斜の最大と最小を示す。



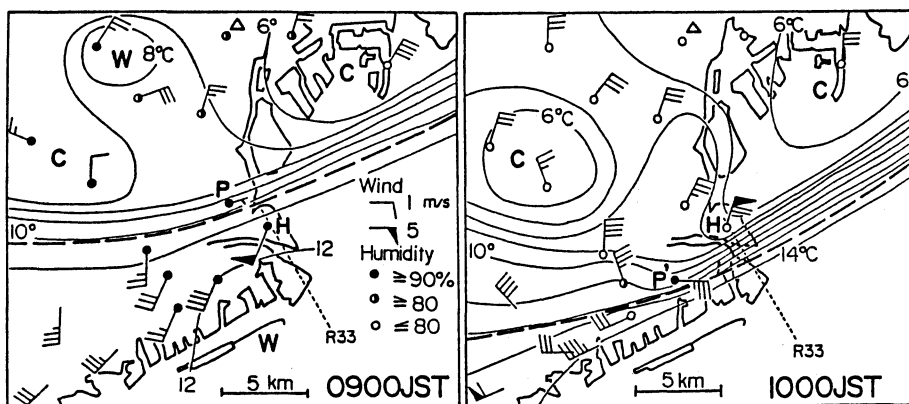
第9図 羽田空港(風, 気温, 露点温度)及び横浜(気温, 露点温度)の記録(1981年2月19日)

説明は文中にある。

羽田空港を北上した前線は、その後、南下したため、それまで南南西の風だったものが09時20分頃から弱い北よりの風となり、気温、露点温度とも急降下したが(E点)、09時32分頃南東風になると共に再び急上昇(G点)したため気温、露点温度ともに山が2つある。しかし横浜にはそれはない。羽田ではその後、09時39分にやや強い北北東の風となり気温も下がった。また、09時57分に

は最大瞬間風速19.8 ktsに達し、気温・露点温度とも一段と降下した。

第7図で severe LAWSを観測したC点(10時28分)は、H点(羽田空港の露場)からグライドスロープ(破線)に沿って5.6 km 南側にあるので、前線が09時から11時の平均速度5.1 km/hrで移動したと仮定すると、C点の観測時刻は、羽田飛行場(H点)の観測時刻より66



第10図 羽田空港付近の局地前線 (1981年2月19日09時及び10時)

実線は 1°C 毎の等温線, H は羽田空港の観測地点(露場), 白い三角形は東京タワー, P, P' は前線帯の中で東よりの特殊な風のある地点(文中に説明), なお, 風速, 相対湿度の表示は09時の図にある。

分前 (09時22分) となる。

この時刻は南南西の強い風から急に北よりの弱い風に変った時刻 (第9図のE点) と一致し, 10時28分に severe LAWS を観測した B-747 が風の変化として $230^{\circ}/35\text{ kts}$ から $020^{\circ}/15\text{ kts}$ を報告していることと矛盾しない。しかし, 航空機の観測した南西の風は, 地上風の2倍近い風速である。

また, 航空機がC地点で観測した強い南西の風は, 東京タワーの観測 (高度250m) には現れていない。このことは第10図の前線の暖気側の南西の風は, 前線の所で急上昇したと考えられる。このように考えることは Shapiro (1984), Simpson *et al* (1977) 等の観測結果と矛盾しない。

4. 考察と航空機に対する影響の問題

中部山岳を寒冷前線が通過する場合, 寒気は先に遠州灘から関東南部に吹き出し, それから遅れて中部山岳を越えた寒気が北関東方面から吹き出してくることはよく知られている。第6図の13時以後の吹き出し (時間別の記号は図の右上) が後者のものである。

今までの説明から, LAWS は局地前線に伴って発生していることは明らかなが,

- (1) 局地前線通過時の羽田空港の特徴的な気象要素の変化,
 - (2) 羽田空港のごく近くだけに LAWS の発生した理由,
- について検討する必要がある。

(1) 局地前線通過時の羽田空港の特徴的な気象要素の変化: 09時から11時迄の局地前線の移動中の変化を見ると (第10図), 09時から10時の間の 前線形成の状況は, 寒気側の温度は09時, 10時とも 7°C ぐらいであり変化なく, 暖気側は09時の 11°C から10時の $13^{\circ}\text{C}\sim 14^{\circ}\text{C}$ に変化し, $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 上昇している。これは局地前線の暖気側で暖気移流の強かったことを意味している。

この前線は次の1時間も南下し, 11時には局地前線の北側での温度降下は大きい (最大 -4.6°C), 南側での暖気の上昇量は小さそうである (海上のデータはないが最大 $+0.4^{\circ}\text{C}$)。つまり, 前線が最も強化されたのは10時頃で, 特に, 温度傾度は羽田空港を中心にして大きくなった (第10図)。

前線の幅は第10図の等温線分布からは決めにくい。そこで, 羽田空港の温度変化 (第9図) で 13°C (F点, 09時20分) から 7°C (10時00分) に変化したところを前線帯の通過と決めると, その間の時間40分と, 09時から10時の前線の平均移動速度 3.8 km/hr から, 前線帯の幅は 2.5 km となる。

ところが, この 2.5 km の前線帯の中には温度が急降下している所 (E点) があり, E点から寒気側に向かって再び温度, 露点温度とも急上昇している (G点)。このG点付近は南東の風で約3分, 幅にして $100\sim 150\text{ m}$ である。しかし, 温度の高い部分の時間は09時33分から09時39分と南東風の時間よりもやや長い。第10図の P, P' 点が羽田の自記記録の東よりの風 (G点) に対応する。

上に述べたように, 前線帯の内部に, 寒気側に向かっ

第4表 羽田空港における高度別の LAWS の発現分布 (1981.1.1-1985.12.31)

高 度 (ft)	0-250	251-500	501-750	751-1000	1001-
滑走路末端からの距離 (km)	0-1.7	1.7-3.5	3.5-5.2	5.2-6.9	6.9-
発現回数	10	16	4	9	9

て温度が上昇する場所があるが、第9図からこの部分の収束を計算しよう。150mの幅で、南南西13.5 kts (平均) から北6 ktsの風の変化があったとすると、地上風の収束は約 $5 \sim 6 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ となる (前線に沿う収束は無視する)。これは、100mの高さまで同じ収束だったとすると $5 \sim 6 \text{ m/s}$ 程度の上昇流となる。

一方、前線のすぐ寒気側では北北東の風が強く、前線帯内の暖気側に近づくにつれ北よりの風は弱くなっている。前線帯内は収束域となり上昇流場である。つまり、上昇流の存在する場所は、地上前線を挟んで暖気側、寒気側の両方にある。

このような鉛直流分布は Simpson *et al.* (1977) が海風前線についてモーターグライダーを用いて測定した結果と似ている。第9図の特殊な風の構造と前線付近の鉛直循環とは関係しているであろうが、ここでは議論出来るだけの資料はない。また、このような風の変化は羽田付近 (第10図で前線の強化された地域) だけで横浜では認められない。

(2) 羽田空港の近くだけに LAWS の発生した理由: LAWS が航空機に影響を与えるのはほぼ、高度1,500 ft (455m) 以下であり、空間的には滑走路の末端から10.4 km 以内になるが、LAWS の高度250 ft (76 m) ごとの発現頻度を1981~1985の5カ年について調査した結果 (第4表) によると、LAWS は滑走路末端から3.5 km 以内に54%、7 km 以内に81%発生している。

考えられる理由としては、(イ)羽田空港のすぐ南で前線が強化され易い、(ロ)ごく低層と少し高い所とで前線形成の状況が異なる、ことの2つがある。

(ロ)の理由として、中山、渡辺 (1987) の東京タワーや気象研究所の観測塔 (本文中には示していないが) の観測によると、前線帯の幅は100mの高さまでは小さく、150mより上では大きいことの調査結果がある。

また、Shapiro (1984) による寒冷前線の測風塔での観測は、約100 mより下で前線帯内の温度や風の傾度は大きい事を示している (Miller, 1948, の前線形成の式から説明しようとしている)。

上述のことから、(ロ)項の仮説が有利のようだが今後、この地域での低層の前線構造の解析を待たないとなんとも言えない。

航空機への影響の問題: 10時28分に severe LAWS を観測した B-747 機は風の変化として $230^\circ/35 \text{ kts}$ から $020^\circ/15 \text{ kts}$ を報じている。

この報告値と羽田の地上風を比較すると

(1) 前線の北側の $020^\circ/15 \text{ kts}$ の値は地上風と同じだが、(2) 南側の風 (高度500 ft) は地上風の2倍以上大きく、(3) 航空機報告では $230^\circ/35 \text{ kts}$ から $020^\circ/15 \text{ kts}$ への風の変化はどのくらいの時間差として報じているかは分からない。

羽田の地上風 (第9図) からは風の急変域はF点からE点と、F点からG点直後の北北東風の強い所との2つの見方ができる。後者の場合に対地速度を 80 m/s とすると25秒かかり、前者の場合には瞬間的である。

いずれにしても、ごく短い時間なので揚力の変化は次のように表される (Fujita, 1985)。

$$\frac{\Delta L}{L} = -\frac{2}{V_a} \Delta u + \frac{1}{V_G} \frac{1}{C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha} \Delta w$$

ここで、 L は揚力、 V_a は対気速度、 V_G は対地速度、 Δu は向い風成分の変化で、 $\Delta u < 0$ が向い風の増加、 Δw は鉛直流の変化、 C_L は揚力係数、 α は迎え角である。

この式で $V_a = V_G$ を 80 m/s とし、グライドスロープ方向 (330°) の揚力変化の右辺第1項を次の場合について求めると

1. 航空機報告どおりに $230^\circ/35 \text{ kts}$ から $020^\circ/15 \text{ kts}$ に急激に変化したとすると $\Delta u = 8.0 \text{ m/s}$ となり20%の増加

2. 前線の暖気側の風は航空機報告の $230^\circ/35 \text{ kts}$ 、北側は地上風の $360^\circ/6 \text{ kts}$ とすると $\Delta u = 5.7 \text{ m/s}$ となり14%の増加

3. 地上の風の暖気側 $210^\circ/13.5 \text{ kts}$ 、北側 $360^\circ/6 \text{ kts}$ とすると $\Delta u = 6.1 \text{ m/s}$ となり15%の増加となる。いずれにしても、右辺の第1項だけでは severe LAWS を報ずるほどの強さとはいえない。

第2項を計算すると、第9図の南南西から北風に変わるところでは100mの高度で5~6 m/s 程度の上昇流(w)があったと推定されるので、航空機の迎え角(α)を5度と仮定すると45~54%, 10度だと25~30%の増加となる($\frac{1}{C_L} \frac{\partial C_L}{\partial \alpha}$ として通常の着陸機のフラップ15度を用いた, Fujita, 1985; P 21).

第9図の風の変化から推定される上昇流は前線帯を挟んで寒気内にも存在するので、ここでは向かい風と上昇流の両方の効果が重なって大きな LAWS を受けたと考えられる。従って、LAWS を考えるには低層の前線付近の風と鉛直流の構造が重要である。

5. 終わりに

LAWS で最も重要なのはマイクロ・バースト(microburst)だが、前線に伴うものでも復行を余儀なくされるものもある(中山, 渡辺, 1987)。それ故、この種のものも引き続き研究することが必要であるが、このためには DFDR (Digital Flight Data Recorder) の利用が有効である。

最後に LAWS の資料については東京航空気象台より、自記記録、アメダス資料については気象庁関係各官署や自衛隊基地より、公害監視用観測値については神奈川県、東京都、千葉県、横浜市、川崎市、相模原市、横須賀市よりいただいた。記して上記の方々にお礼申し上げます。

文 献

Browning, K.A. and T.W. Harrold, 1970: Air

motion and precipitation growth at a cold front. Q.J. Roy. Met. Soc. 96, 369-389.

——, and C.W. Pardoe, 1973: Structure of low level jet stream ahead of mid-latitude cold fronts. *ibid*, 99, 619-638.

Charba, J., 1974: Application of gravity current model to analysis of squall line gust front. *Mon. Wea. Rev.*, 102, 140-156.

Fujita, T., Kenneth, A.S. and R.A. Brown, 1962: On the mesometeorological field studies near Flagstaff, Arizona, *J. Appl. Met.* 1, 26-42.

Fujita, T.T., 1985: The Downburst—Macroburst and Microburst—Chicago Univ. Press. 1-122.

Miller, J.E., 1948: On the concept of frontogenesis. *J. Met.* 5, 169-171.

中山 章, 渡辺文雄 (1987): 1981年5月12日に羽田空港に発生した Low Altitude Wind Shear (LAWS) の解析, 天気, 34, 615-624.

Shapiro, M.A., 1984: Meteorological tower measurements of a surface cold front. *Mon. Wea. Rev.* 112, 1634-1639.

Simpson, J.E., Mansfield, D.A. and J.R. Milford, 1977: Inland penetration of sea breeze fronts. Q.J. Roy. Met. Soc. 103, 47-76.

——, and R.E. Britter, 1979: The dynamics of the head of a gravity current advancing over a horizontal surface. *J. Fluid Mech.* vol. 94, part 3, 477-495.

——, ——, 1980: A laboratory model of an atmospheric mesofront. Q.J. Roy. Met. Soc. 106, 485-500.

Wakimoto, R.M., 1982: The life cycle of thunderstorm gust fronts as viewed with doppler radar and rawinsonde data. *Mon. Wea. Rev.* 110, 1060-1082.

(p380 からつづく)

入って、予報官達は、モデルを道具とみることに慣れて来たように思います。現在では、協力的になっていると思います。但し、最近では、少し、頼り過ぎる傾向があります。数値予報も、万全ではありません。昨年の10月の低気圧の例でも分かりますが、

ECMWF の譜代の臣として、柱石という感じの Burridge でした。エネルギーで、頑固で、まけず嫌いの男の様に見受けました。本人はいいませんでした、regional spectral model については、いまに見ている、と思っている様でした(ただしこれは筆者の憶測です)。

(住 明正)